(Aus der Universitäts-Augenklinik in Basel [Dir.: Prof. Dr. *Alfred Vogt*].)

Experimentelle Untersuchungen über den Mazerationszerfall der menschlichen und der tierischen Linse.

Mit 10 Textabbildungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Ernst Albert Meier,
prakt. Arzt, von Bärschwil (Solothurn).

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

BERLIN 1918
VERLAG VON S. KARGER
KARLSTRASSE 15.

Von der medizinischen Fakultät Basel
genehmigt auf Antrag von Professor Dr. *A. Vogt.*

Sonder-Abdruck aus der Zeitschrift für Augenheilkunde. Bd. 39.

IMBERG & LEFSON G.M.B.H.
BERLIN SW.

Meiner lieben Mutter

in Dankbarkeit.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547021_0045

I. Einleitung.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden durch die kürzlich von *Vogt* (1) unter dem Titel: „*Faltenartige Bildungen in der senilen Linse, wahrscheinlich als Ausdruck lamellärer Zerklüftung*“ veröffentlichte, bisher nicht bekannte Beobachtung von lamellärem Zerfall in der lebenden Greisenlinse angeregt.

Diese im höhern Alter sehr häufige, eine feine Fältelung der Rinde und des Kerns vortäuschende Zerfallserscheinung legte den Gedanken nahe, daß hier eine Zerklüftung der Linse in konzentrisch geordnete Lamellen auftrete, eine Erscheinung, die bei Mazerationsversuchen schon früher beobachtet wurde. Da der Annahme nichts im Wege steht, daß sich der Zerfall der Linse im lebenden Auge bis zu einem gewissen Grade mit dem Mazerationszerfall der Leichenlinse vergleichen läßt, haben wir es unternommen, an einem größeren menschlichen und tierischen Material die Erscheinungen des Mazerationsprozesses genauer zu studieren und mit denjenigen des kataraktösen Zerfalles zu vergleichen.

Durch die Untersuchungen von *Rabl* (2) wurde unsere Auffassung vom lamellären Aufbau der Linse auf eine neue Basis gestellt. Während früher eine Struktur aus *zwiebelschalenartig geordneten Lamellen* allgemein angenommen wurde, stellte *Rabl* durch ausgedehnte vergleichend-anatomische Untersuchungen fest, daß bei den Selachiern und auch bei den höheren Wirbeltieren infolge Gruppierung der Epithelzellen in der Äquatorialgegend zu Radiärreihen eine Angliederung der Linsenfasern in radiärer Richtung stattfindet, wodurch sich eine Anordnung der Fasern zu *radiären Lamellen* ergibt.

Auf Grund seiner Beobachtungen kommt *Rabl* zu dem Schluß, daß die Linse der Vertebraten *nur* aus „Radiärlamellen" aufgebaut und daß die früher angenommene konzentrische Schichtung gänzlich abzulehnen sei. So äußert er sich zum Bau der Selachierlinse (l. c. pag. 24) wie folgt:

„Meridionalschnitte durch die Linse erwecken leicht die Vorstellung, daß die Linsenfasern zu Schichten geordnet sind, welche „wie die Schalen einer Zwiebel" konzentrisch übereinander liegen. Indes sind die konzentrischen Linien, die man an solchen Schnitten sieht, nicht die Grenzlinien *ganzer Schichten* von Linsenfasern, sondern lediglich die Konturen *einzelner* Linsenfasern. Dieselbe Vorstellung einer konzentrischen Schichtung wird auch durch die bekannte Tatsache hervorgerufen, daß man von gehärteten oder getrockneten Linsen mehr oder weniger umfängliche Platten abbröckeln kann, die konzentrisch übereinander liegen. Jedoch hat dies lediglich darin den Grund, daß die Linsenfasern gleichen oder ungefähr gleichen Alters auch gleiche oder ungefähr gleiche Konsistenz, gleiche chemische und physikalische Beschaffenheit besitzen. Wer an dieser in alle Lehr- und Handbücher der Anatomie und Histologie übergegangenen *durchaus irrigen Annahme einer konzentrischen Schichtung*[1]) der Linse festhält, wird sich an den Bildern, welche Äquatorialschnitte zeigen, nicht zurechtfinden. Diese zeigen alles eher als eine konzentrische Schichtung; und doch müßten sie, wenn eine solche vorhanden wäre, dieselbe ebenso deutlich zeigen, *wie es Meridionalschnitte tun oder vielmehr zu tun scheinen.*[1]) Statt zu konzentrischen Schichten sieht man aber an solchen Äquatorialschnitten *die Linsenfasern zu radiären Lamellen vereinigt;* statt des Bildes einer Zwiebel erhält man das einer Apfelsine. Dabei ist die Regelmäßigkeit des Bildes eine geradezu erstaunliche."

S. 26 ff.: „Die Radiärlamellen weichen ganz gewöhnlich bei der Härtung von Stelle zu Stelle auseinander und es entstehen dadurch zwischen ihnen mehr oder weniger breite und tiefe Spalten, welche, wenn sie bis an die Oberfläche reichen, im auffallenden Lichte als dunkle Streifen erscheinen, die von den Linsennähten radiär gegen den Äquator ziehen. Dagegen bilden sich nur *sehr selten*[1]) quere Spalten, die senkrecht durch die Lamellen und demnach parallel zur Oberfläche verlaufen. Diese queren Spalten haben stets unregelmäßige Wände und unregelmäßigen Verlauf. Dieses Verhalten wäre ganz unverständlich, wenn die Linse, wie dies immer behauptet wird, aus konzentrischen Schichten und nicht, wie ich finde, aus radiären Lamellen aufgebaut wäre."

An anderer Stelle (l. c. pag. 31) äußert sich *Rabl:* „Fehlerhaft aber ist es, von Fasern einer und derselben Schicht zu reden; denn *Schichten gibt es in der Linse nicht.*[1]) Diese sind Kunstprodukte, von denen das histologische Bild nichts weiß. Da sich nun aber die Fasern zu Lamellen vereinigen, so können auch diese nicht genau meridional gestellt sein, sondern müssen vielmehr *windschief verbogen*[1]) sein."

Auch in seinen weiteren Ausführungen wendet sich *Rabl* bestimmt gegen die Annahme einer konzentrischen Schichtung im althergebrachten

[1]) Im Original nicht gesperrt.

Sinne, so S. 64: „Auch bei den Amphibien zeigen die radiären Lamellen die Neigung, bei der Fixierung auseinander zu weichen, so daß zwischen ihnen Spalten entstehen, die zwei benachbarte Lamellen auf größere oder geringere Ausdehnung voneinander trennen. Nur ganz ausnahmsweise kommt es einmal vor, daß Spalten entstehen, die mehr oder weniger parallel der Oberfläche verlaufen, *so daß eine Schichtung im althergebrachten Sinne vorgetäuscht wird.*[1])

Bei der Besprechung der Reptilienlinse äußert sich *Rabl* auf S. 73: „Erst als alle Versuche, eine solche (konzentrische) Schichtung im mikroskopischen Bilde nachzuweisen, fehlgeschlagen hatten, arbeitete sich langsam die Überzeugung durch, daß der vermeintliche Schichtenbau lediglich durch die verschiedene Konsistenz der Fasern verschiedenen Alters vorgetäuscht wird."

S. 174 beschreibt *Rabl* einen Meridionalschnitt durch die Vogellinse: „Die Grenzen der Fasern rufen *auch hier den Eindruck konzentrisch geschichteter Lamellen*[1]) hervor; aber es ist auch hier zu bedenken, daß die vermeintlichen Schichtungslinien nichts anderes als die *Grenzlinien der einzelnen Fasern*[1]) sind."

Auf S. 226 ff. spricht *Rabl* von der Unregelmäßigkeit des Verlaufes der Lamellen und der Mannigfaltigkeit der Faserquerschnitte bei den Linsen der Säugetiere, Eigenschaften, die hauptsächlich bei den Primaten sehr ausgesprochen sind. *Rabl* deutet sie „als Ausdruck einer ganz außerordentlichen Plastizität der Fasern und also auch als Ausdruck einer ganz außerordentlichen Schmiegsamkeit der ganzen Linse". (Andererseits stellt gerade auch *Rabl* fest, daß die weichste und am leichtesten die Form verändernde Linse, die Vogellinse, eine verhältnismäßig große Regelmäßigkeit des Faseraufbaues zeigt.)

Von neueren Autoren, welche uns für die nachfolgenden Untersuchungen interessieren, seien folgende zitiert:

Merkel und *Kallius* (3) fanden, daß sich bei Behandlung der menschlichen Linse mit Weingeist oder *Müller*scher Flüssigkeit „oft mehrere, untereinander abwechselnde, hellere und dunklere Zonen bilden", und daß man „von einer getrockneten Linse Stücke in Form von Kugelschalen" abblättern kann. Sie geben an, daß die bei der Mazeration in den Nähten entstehenden Spalten im ersten Entstehen drei an der Zahl seien. „An der Vorderfläche zieht der eine Schenkel nach oben, die beiden anderen lateral und medial nach unten, so daß die Figur eines umgekehrten Y entsteht." „Im Kern zeigen sich bei der Mazeration fast immer nur die drei primären Spalten, meist regelmäßig stehend, also gleich große Segmente von Linsensubstanz trennend. Ferner sahen wir auch, daß der Kern, selbst bei längerer Mazeration, nicht in Segmente zerfiel, sondern *ohne Spaltung sich in unregelmäßige Schüpp-*

[1]) Im Original nicht gesperrt.

chen[1]) auflöste.“ Obwohl sie ihre Stellungnahme nicht bestimmt ausdrücken, scheinen sie sich der *Rabl*schen Auffassung anzuschließen.

O. Schultze (4) erklärt (l. c. pag. 6 u. 7) den von ihm beobachteten Zerfall der Linse in konzentrische Blätter dadurch, daß „die Kittsubstanz zwischen den schmalen Seiten der Fasern reichlicher ist, als zwischen den langen Seiten, und die ersteren außerdem durch das gegenseitige Ineinandergreifen fester verbunden erscheinen, als die breiten Seiten“. Er lehnt die alte Lehre zugunsten der von *Rabl* aufgestellten gänzlich ab: „*Von einer vorgebildeten zwiebelschalenähnlichen Struktur kann demnach keine Rede sein.*“[1]) — Gleichwohl sagt er weiter unten (l. c. pag. 10 ff.): „Es ergibt sich hieraus, daß die in einer *konzentrischen Lamelle*[1]) verlaufenden Fasern alle annähernd die gleiche Länge haben.“

C. Heß (5) und *Ginsberg* (6) schließen sich in allen Teilen der *Rabl*schen Auffassung an.

Greeff (7) äußert sich bei der Besprechung der normalen Anatomie der Linse nicht über die Anordnung der Linsenfasern. Dagegen stellt er auf Taf. VI eine infizierte traumatische Katarakt dar. Das Bild zeigt sehr schön eine *Rundzelleninfiltration der Linse im Sinne der konzentrischen Schichtung.*

Stöhr (8) schließt sich *Rabl* an, bemerkt aber (l. c. S. 402): „Man kann nach Ablauf dieser Zeit (Einlegen in *Ranvier*schen Alkohol 2 Stunden, Abziehen der Kapsel und weiteres Mazerieren bis 40 Minuten) die Linse in dem Alkohol leicht in schalenförmige Stücke zerlegen.“

Salzmann (9) äußert sich wie folgt (l. c. pag. 183): „Da die Bildung neuer Linsenfasern im ganzen Umfang des Linsenäquators vor sich geht und in jeder Radiärlamelle ungefähr gleichzeitig eine neue Faser angesetzt wird, so erhält die Linsensubstanz *eine durch die Altersunterschiede der Fasern bedingte Schichtung.*[1]) Durch Mazeration, z. B. Kochen, lassen sich diese Schichten oder Schichtenkomplexe voneinander trennen: die Linse läßt sich parallel zur Oberfläche in Blätter spalten.“

Testut (10) erwähnt den Aufbau aus Radiärlamellen noch nicht, gibt aber eine gute Abbildung von konzentrischem Linsenzerfall (l. c. pag. 499).

Branca (11) (l, c. pag. 417 ff.) nimmt die *Rabl*sche Auffassung an, behält aber daneben die alte Lehre bei.

---

[1]) Im Original nicht gesperrt.

Vogt (12) (l. c. pag. 368) nimmt wie *Salzmann* eine konzentrische *und* eine radiäre Lamellierung an und wendet sich gegen die Autoren, welche *kurzerhand nur* von „Radiärlamellen" sprechen.

Von den neueren *Lehrbüchern der Augenheilkunde* stehen dasjenige von *Axenfeld* (13) (bearbeitet von *Bach*) und dasjenige von *Römer* (14) ganz auf dem *Rabl*schen Standpunkt. — *Fuchs* (15) dagegen schreibt (l. c. pag. 543): „Da diese (die Linsenfasern) aus meridionalen Reihen von Epithelzellen hervorgegangen sind, ordnen sie sich zu radiären Lamellen, was uns erklärt, warum Linsentrübungen so häufig in Form radiärer Streifen auftreten. Mit Verlängerung der Kapselepithelien rückt der Kern derselben von der Kapsel ab in das Innere der Linse hinein, so daß entlang dem Äquator eine Zone sich findet, wo zahlreiche Kerne in der Linsensubstanz selbst liegen. Die sog. Kernzone stellt somit jenen Bezirk der Linse dar, wo das Wachstum derselben stattfindet. Dies geschieht durch Apposition, indem immer neue Epithelzellen zu Linsenfasern auswachsen, welche sich außen an die älteren Linsenfasern anlegen. Dadurch bekommt die Linse *nebst ihrem radiären auch einen konzentrisch geschichteten Bau.*"[1])

II. Kritik der bisherigen Untersuchungen.

Die ausführlichsten Untersuchungen über die Wirbeltierlinse verdanken wir *Rabl*. Seine Lehre von der Zusammensetzung der Linse aus Radiärlamellen ist heutzutage von den Anatomen und Ophthalmologen fast allgemein angenommen. Die meisten derselben haben mit *Rabl* die frühere Anschauung, daß die Linse auch aus konzentrischen Schichten aufgebaut sei, fallen gelassen.

Es erweckt aber durchaus *unrichtige Vorstellungen*, wenn in den modernen Werken (und besonders in den Lehrbüchern) die frühere Anschauung von der konzentrischen Linsenschichtung nicht erwähnt oder als irrig bezeichnet wird und dafür kurzweg von einem Aufbau aus apfelsinenartigen Sektoren gesprochen wird; *denn von einer wirklich radiären Anordnung der Rablschen Lamellen kann bei der Säugerlinse nicht die Rede sein*, wie wir in unseren weiteren Ausführungen zeigen werden. (Einen Beleg dafür, daß die *Rabl*sche Theorie in der Augenheilkunde nicht immer zu klaren Vorstellungen vom Linsenaufbau geführt hat, bildet beispielsweise die Darstellung in einem neueren Lehrbuch, der Augenheilkunde wo der Autor den Zerfall in Radiärlamellen dadurch zu beweisen

[1]) Im Original nicht gesperrt.

sucht, daß er mit verdünnter Kalilauge eine Tierlinse in sektorenförmige Stücke zerlegt. Die so erhaltenen Sektoren waren aber durch *Zerfall in den Nähten* entstanden; bei diesen Mazerationsversuchen tritt gerade, wie wir in unserem experimentellen Teile zeigen werden, *kein Zerfall in Radiärlamellen* auf.)

Rabl selbst hat dann und wann an Präparaten einen konzentrischen Aufbau erkannt. Er ignoriert denselben jedoch regelmäßig oder bezeichnet ihn als Kunstprodukt, wie wir es aus den in der Einleitung angeführten Stellen seines Werkes ersehen können. Aus diesen Bemerkungen geht hervor, daß *Rabl* auf den Umstand, daß die Linse an ihrer Peripherie durch Apposition wächst und daß daher auf jedem Meridionalschnitt konzentrisch geordnete Zonen von Linsensubstanz *gleichen Alters* getroffen werden müssen, keinen besonderen Wert legte.

Da aber die Konsistenz und andere physikalische und offenbar auch chemische Eigenschaften der Zonen verschiedenen Alters verschiedene sind, so muß schon aus diesem Grunde ein Aufbau der Linse aus konzentrischen Schichten von verschiedener Beschaffenheit angenommen werden. *Es läßt sich somit diese Schichtung sehr wohl auch in entwicklungsgeschichtlicher Hinsicht begründen*, und es ist nicht einzusehen, warum wir sie mit *Rabl* ablehnen müssen.

Es sei hier beiläufig noch bemerkt, daß es *Rabl nicht* gelungen ist, bei der erwachsenen Menschenlinse das Vorhandensein von Radiärlamellen außer in den peripherstenRindenteilen, direkt unter der Kapsel, nachzuweisen.

Rabl stützt sich in seinen Schlußfolgerungen hauptsächlich darauf, daß er in *Äquatorialschnitten* der frischen Linse niemals oder doch nur höchst selten und andeutungsweise eine zur Oberfläche parallele Spaltbildung beobachtete. Er konnte eine konzentrische Schichtung nur auf *Meridionalschnitten* sehen, faßt sie aber hier als Zeichen der *Radiärlamellierung* auf. Eine solche Auffassung ist sicherlich da ohne weiteres zulässig, *wo kein Nahtsystem* besteht wie bei der Vogellinse und bei der Linse gewisser Reptilien und Knochenfische.

Nehmen wir aber einen Meridionalschnitt durch die *menschliche Linse*, so beobachten wir dieselbe regelmäßige konzentrische Schichtung, *ohne daß es uns hier möglich wird, die dabei sichtbaren, konzentrisch geordneten Zonen, welche von der Peripherie bis in das Zentrum der Linse verfolgt werden können, als einen Ausdruck der Radiärlamellierung aufzufassen.* Denn wie *Rabl* selbst hervorhebt, stellt bei höheren Säugern mit ausgebildetem Nahtsystem *jede*

Radiärlamelle eine „windschief verbogene" Fläche dar, weil die Nähte der vorderen und hinteren Fläche der Linse alternierend stehen.

Dazu kommt noch, daß *die Nähte der Oberfläche mit denen der Tiefe weder in der Verlaufsrichtung noch in der Längenausdehnung zusammenfallen.* Welch kompliziert gekrümmte Form sich somit bei den Primaten mit ihrem reich verzweigten Nahtsystem für jede „Radiärlamelle" (sofern überhaupt diese Bezeichnung in einer derartigen Linse berechtigt ist) ergeben muß, bedarf keiner weiteren Erörterung. Wir stimmen daher *Vogt* (12) durchaus bei, wenn er (l. c. pag. 368) sagt, daß die einseitige Auffassung vom Radiärlamellenbau der Linse ebenso unrichtige Vorstellungen erweckt, wie die frühere Anschauung von einer rein konzentrischen Schichtung.

Wir brauchen deshalb unserer oben aufgestellten Behauptung, daß die konzentrische Anordnung der auf Meridionalschnitten zu sehenden Zonen nicht wohl, oder doch sicher nicht allein aus dem Aufbau der Linse aus Radiärlamellen abgeleitet werden kann, nichts weiter beizufügen, als daß *gerade in einem solchen Meridionalschnitte die Rablschen Lamellen, die doch auf die komplizierteste Art gekrümmt sind, in den verschiedensten Richtungen schräg und quer durchschnitten werden müssen.*

O. Schultze (4) (l. c. pag. 11 ff.) gibt, trotzdem er eine konzentrische Schichtung mit Entschiedenheit leugnet, diese Tatsache zu und fügt noch an: „Die Radiärlamellen *Rabls* werden natürlich an Äquatorialschnitten am besten gesehen."

Salzmann (9), der sich (l. c. pag. 186) ebenfalls mit dieser Frage befaßte, hat gefunden, daß „auch an Meridionalschnitten gelegentlich das Querschnittbild der Linsensubstanz sichtbar werden kann, und zwar in der Nähe der Pole". Er führt aber diese Beobachtung *nicht* auf den windschief verbogenen Verlauf der Radiärlamellen zurück, sondern auf den Umstand, daß „der Schnitt eben nicht ganz genau meridional" war.

Schwerlich werden wir auch bei einem ganz genau meridional geführten Schnitte auch nur eine einzelne Faser finden, welche in ihrer ganzen Ausdehnung eine zum Schnitte parallele Lage hat, wenigstens nicht bei der menschlichen Linse. (*Rabls* Bemerkung l. c. pag. 74, bezieht sich auf die nahtlose Vogellinse, bei der die Lamellen wirklich radiär gerichtet sind.) Bei einer Linse mit kompliziertem Nahtsystem kann eine einzelne Faser nur auf Teilstrecken, und hauptsächlich nur in der Nähe des Äquators und der Pole, mit dem Meridionalschnitt parallel laufen. Daraus geht

hervor, *daß die bei einem solchen sichtbare Schichtung zwar zum Teil dadurch bedingt sein kann, daß jede Linsenfaser einen mehr oder weniger meridionalen Verlauf hat, durchaus aber nicht dadurch, daß die Linse aus Rablschen Radiärlamellen aufgebaut ist.* Man kann deshalb auch nach dem Aussehen von Äquatorialschnitten normaler Linsen nicht auf die Abwesenheit eines konzentrischen Schichtenbaues schließen.

Und wenn wir auch jegliche konzentrische *Schichtung* leugnen wollten, so müßten wir doch nach den altbekannten Mazerationsversuchen einen konzentrischen *Zerfall* zugeben. Warum sollten wir nicht von einer *Schicht* gleichaltriger Fasern sprechen, da ihnen auch die Gegner der alten Auffassung gleiche Eigenschaften zusprechen?

Stellen wir uns eine künstliche, aus Radiärlamellen zusammengesetzte Linse vor. Würden wir bei einer solchen die *Fasern gleichen Alters* mit der gleichen Farbe darstellen, und zwar so, daß wir immer wieder für eine neue Fasergeneration eine andere Farbe wählten, so könnten wir im Äquatorial- wie im Meridionalschnitt eine konzentrische Schichtung erkennen. Würden wir uns aber umgekehrt jede einzelne *Radiärlamelle* aus Fasern gleicher Farbe darstellen, so wäre an einem Äquatorialschnitt die radiäre Lamellierung äußerst schön zu sehen, ein Meridionalschnitt aber müßte, hauptsächlich bei einer Linse mit kompliziertem Nahtsystem, ein buntscheckiges Bild geben.

Zusammenfassend können wir sagen, daß die Darstellungen *Rabls* und seiner Anhänger *durchaus nichts beweisendes gegen die Existenz einer konzentrischen Schichtung* bringen, welche durch die physikalischen und chemischen Unterschiede verschiedenalteriger Linsenzonen bedingt wird, und welche in den Erscheinungen der Alterskatarakt wie auch bei den längst beobachteten Mazerationsphänomenen zum Ausdruck kommt.

Deshalb hat auch *Fuchs* (15) (l. c. pag. 543) die frühere Auffassung vom konzentrischen Schichtenbau der Linse beibehalten, wenn er auch daneben einen radiären Bau im Sinne *Rabls* anerkennt. — Auch *Salzmann* (9) teilt, wie wir in der Einleitung sahen, die *Fuchs*sche Auffassung.

Auf Grund seiner Beobachtungen an der Greiserlinse und seiner Mazerationsversuche an tierischem Material gelangte *Vogt* (1) zu dem Schluß, daß die *konzentrische Struktur der Linse pathologisch-anatomisch, insbesondere bei der Kataraktbildung, im Vordergrund*

steht. Er fand bei alten Personen jenseits des 60. Altersjahres sehr häufig eine an feine Parallelfalten erinnernde Zeichnung, die in der Rinde oder in den oberflächlichen Kernschichten zu sehen ist, und welche, je nachdem sie bei der Untersuchung beleuchtet wird, bald oberflächlicher, bald tiefer zu liegen scheint. Es handelt sich hier nach *Vogt* (l.c.pag.46) um eine Erscheinung, welche auf den Zerfall der Linse in *konzentrische Lamellen* zurückzuführen ist, und die, wie unten gezeigt werden soll, auch durch Mazeration hervorgerufen werden kann.

Es waren, wie wir einleitend bemerkten, diese praktisch wichtigen Veränderungen der senilen Menschenlinse, die uns zu den vorliegenden Untersuchungen veranlaßten. Denn da der mit einer vermehrten Flüssigkeits-Aufnahme einhergehende Zerfall der Linsensubstanz das wesentliche jedes kataraktösen Rindenzerfalls darstellt, so mußten wir erwarten, daß durch Aufquellen der Leichenlinse in der Mazerationsflüssigkeit ähnliche oder gleiche Bilder entstehen würden, wie bei der Greisenlinse im lebenden Auge.

III. Eigene Beobachtungen.

A. *Versuchsanordnung.*

Unsere Mazerationsversuche stellten wir an einer großen Anzahl tierischer und menschlicher Linsen an.

Als *tierische Objekte* wählten wir hauptsächlich Pferde-, Kuh- und Kalbslinsen. Die Tieraugen wurden möglichst *frisch* aus dem Schlachthaus bezogen und meist schon wenige Stunden nach der Schlachtung verwendet. Die Bulbi wurden am Äquator halbiert, der Glaskörper sorgfältig von der Linsenhinterfläche abgestrichen und die Linse *unter Vermeidung von Kapselverletzungen* isoliert. Meist blieben noch kleinere oder größere Reste der Zonula oder auch der Uvea an der Kapsel hängen, doch stören sie den Mazerationsvorgang nicht. Wollten wir sie gänzlich entfernen, so erwies sich uns folgende *Methode* als sehr zweckmäßig:

Die Linse wird so gut wie möglich isoliert und in eine Glasschale gelegt. Mittels Filtrierpapier werden die noch adhärenten Glaskörperreste angesaugt und sanft weggezogen. Die noch vorhandenen Stücke vom Ciliarkörper werden ebenfalls mit Filtrierpapier betupft, wodurch sie sich an diesem festheften. Durch Wegziehen des Blattes spannt man die Zonulafasern an und kann sie leicht mit einer feinen Schere durchtrennen, ohne daß man dabei die Kapsel verletzt.

Die *menschlichen Linsen* erhielten wir meist aus dem pathologisch-anatomischen Institut der Universität Basel, mit Glaskörper und Uvearesten zusammen im Reagensglase; nur selten konnten wir ganze Bulbi erhalten. Dann und wann entfernten wir auch (in der kant. Krankenanstalt Aarau), hauptsächlich um recht frische Präparate zu erhalten, die Linsen bald nach dem Tode ihres Trägers durch Lappenschnitt und Extraktion in der Kapsel. — Auch bei den menschlichen Linsen entfernten wir Glaskörper- und Uveareste so gut wie möglich und hüteten uns vor Verletzungen der Kapsel.

. Die *frischen Linsen* wurden sogleich makroskopisch und mit dem binokularen Hornhautmikroskop betrachtet, hauptsächlich die menschlichen, um bei ihnen etwaige Erscheinungen von lamellärer Zerklüftung, die wir auch an der frischen Leichenlinse beobachteten, nicht zu übersehen.[1])

Das von uns benützte *Hornhautmikroskop* erlaubt die Beobachtung des Objektes nur in *horizontaler* Richtung; auch die *Gullstrand*sche *Spaltlampe* ist nur zur Beleuchtung von vorn oder von der Seite, nicht aber von oben und unten eingerichtet. Man kann zwar das Instrument in einem Kasten mit schiefer Ebene derart aufstellen, daß es bei stärkster Neigung des Mikroskoppaares auch zur Betrachtung des Objektes *von oben* dienen kann; dazu benötigt man aber eine andere Lichtquelle. Wir haben uns dieser Anordnung bedient, um stark zerfallene Linsen in der Mazerationsflüssigkeit beobachten zu können.

Will man eine Linse, mittelst der *Gullstrand*schen Spaltlampe beleuchtet, mit dem Hornhautmikroskop betrachten, so kann man sie, auf einen Objektträger gelegt, vor das Instrument bringen. Zum Studium der *Äquatorialgegend* genügt diese Versuchsanordnung; will man aber die Linse in *axialer Richtung* überblicken, so muß man ihre Äquatorialebene senkrecht stellen. Man kann dies erreichen, indem man die Linse auf etwas feuchter Watte, welche ein Abrutschen verhindert, aufstellt. Noch zweckmäßiger erwiesen sich uns *Glaslöffelchen* mit nach innen gebogenem Rand,

---

[1]) *Beispiel:* S. B., 76 Jahre, männl. Trockenbeobachtung 15 *Minuten* nach Entnahme aus dem Auge des soeben erst Verstorbenen durch Lappenschnitt (kant. Krankenanstalt Aarau). Im Bereiche der vorderen Kernoberfläche *sehr schöne lamelläre Zerklüftung*, spinnwebeartig zwischen den Nähten ausgespannt, wie die von *Vogt* am Lebenden beobachtete. Hier war somit die lamelläre Zerklüftung offenbar schon intra vitam vorhanden gewesen.

deren Größe je nach der zu untersuchenden Linse verschieden war, und in denen das Objekt bequem in jede beliebige Lage gebracht werden konnte, ohne daß es verletzt wurde. Außerdem war die Beleuchtung auch durch die Glaswand hindurch möglich.

Nach der ersten Betrachtung wurde die Linse in die Mazerationsflüssigkeit eingelegt. Als *Gefäße* wählten wir meist kleine Glasschalen, die tief genug waren, damit das Objekt ganz von Flüssigkeit bedeckt war. Ein Deckel verhinderte allzu rasches Verdunsten. — Um den Mazerationszerfall der menschlichen Linse bequem beobachten zu können, und um zugleich das Objekt vor jeglicher mechanischer Läsion während der Untersuchungsdauer zu schützen, ließen wir nach unseren Angaben von *H. Strübin* und *Sohn*, Optische Werkstätte Basel, ein besonderes *Glaskästchen* anfertigen. Das Gefäß besteht in einer vorn und hinten von 0,75 mm dicken, planparallelen Scheiben abgeschlossenen *Kammer* von 15 mm Höhe, 12 mm Breite und 6 mm Tiefe. Eine 24 : 20 : 6 mm messende Glasplatte dient ihm als Fuß. Die geringe Tiefe der Kammer verhindert ein Umkippen der darin eingelegten Linse, und man kann deshalb stets die beiden Flächen derselben in axialer Richtung übersehen. — Eine Verdunstung des Mazerationsmittels verhinderten wir dadurch, daß wir die Kammer mit einem Deckglas möglichst dicht abschlossen, oder wir tauchten das ganze Kästchen samt Inhalt in ein mit der Flüssigkeit gefülltes, größeres Gefäß ein.

Alle unsere Versuche machten wir im Laboratorium bei *mittlerer Zimmertemperatur*. Tiefere Temperaturen verzögern den Mazerationszerfall; auf Anwendung des Brutkastens verzichteten wir, hauptsächlich deshalb, weil die Fäulnis des Materials dort sehr rasch eintritt.

Als *Mazerationsmittel* diente uns meist gewöhnliches *Brunnenwasser* aus der städtischen Trinkwasserleitung. *Destilliertes* Wasser wirkte wie jenes. — Das Wasser muß *häufig gewechselt* werden, um die putride Zersetzung und die Ansiedelung von Schimmelpilzen hintanzuhalten.

Einen hemmenden Einfluß auf das Wachstum der Fäulniserreger beobachteten wir auch bei Zusatz einiger Tropfen wässeriger *Methylenblaulösung*. Dieser Farbstoff hat, wie wir weiter unten sehen werden, noch den Vorteil, daß er die Kittsubstanz der Nähte stärker färbt als die übrige Linsensubstanz. Auch das Epithel tritt bei frischem Material infolge der Färbung der Zellkerne deutlich hervor. Wir benutzen diesen Farbstoff hauptsächlich bei der

lange dauernden Mazeration *tierischer* Linsen. Wo es uns aber daran gelegen war, die feineren Einzelheiten des Zerfalls mit dem Hornhautmikroskop zu studieren, also besonders bei Menschenlinsen, unterließen wir meist die Färbung.

Als fäulnishemmendes Mittel wandten wir auch *Phenolzusatz* an (1 ccm 3 proz. Phenollösung auf ca. 20 ccm Wasser). Die Mazeration wird dadurch wesentlich *verzögert*, tritt aber dennoch in typischer Weise auf, wie im gewöhnlichen Wasser. Mit Methylenblau gefärbte Objekte nehmen durch die Phenolwirkung eine schmutzig-grüne Farbe an, auch die Mazerationsflüssigkeit färbt sich grünlich. (Diese Verfärbung entsteht *nicht*, wenn man eine dünne Methylenblaulösung mit Phenol versetzt, auch nicht nach Kochen der Mischung ohne Zufügung organischer Substanz, z. B. mazerierter Linsenteile.)

Wir versuchten auch nach *Reinke* (16) (l. c. pag. 741), als Mazerationsmittel 10 *proz. Lysollösung* zu verwenden. Die damit behandelten Tierlinsen zerfielen aber *nicht* wie im Wasser, sondern sie wurden gehärtet, wohl durch die zu starke Konzentration der Lösung. Die Linsen trübten sich nach längerer Einwirkung derselben bis in die zentralen Partien; die äußeren Rindenteile nahmen eine bräunliche Verfärbung an. Die Kapsel blieb völlig intakt. Diese Linsen konnten wir, ähnlich wie getrocknete Objekte, in *zwiebelschalenartige Blätter* zerlegen, mit dem Vorteil, daß sie elastisch blieben, während getrocknete (wie auch gekochte) Linsen beim Präparieren leicht zerbröckeln.

Durch 2 *proz. Salzsäure* konnten wir eine sehr rasche Mazeration erreichen, die aber nur zu bald die Linse in ihre einzelnen Fasern auflöste und so die verschiedenen Phasen des im Wasser so typisch verlaufenden Zerfalles verwischte. Auch bei Behandlung mit verdünnter *Kalilauge* sahen wir ähnliches. Die Mazeration mit *Drittel-Alkohol* nach *Stöhr* (8) (l. c. pag. 402) bot uns keine besonderen Vorteile.

Die im folgenden beschriebenen Beobachtungen der Mazerationsvorgänge an der tierischen und menschlichen Linse stellten wir (wenn wir nichts besonderes dazu bemerken) an Objekten an, die in *gewöhnlichem Brunnenwasser*, eventuell mit Zusatz von Methylenblau oder Phenol, eingelegt waren.

B. *Mazeration tierischer Linsen.*

Das reichliche Material des Aarauer und Basler Schlachthauses erlaubte uns, unsere Beobachtungen an *mehreren hundert Tier-*

linsen zu machen. Wir verwendeten hauptsächlich Linsen *alter* Tiere, um der senilen Menschenlinse möglichst vergleichbare Verhältnisse zu haben. Die *Größe*, der *Grad der Gelbfärbung* und die mehr oder weniger ausgesprochene *Verzweigung der Nähte* lassen auch bei der isolierten Linse auf das Alter des Tieres schließen.

Das *Nahtsystem* läßt sich durch kurze Färbung der ganzen Linse in dünner *Methylenblaulösung* gut sichtbar machen. Man kann auf diese Weise, hauptsächlich bei geeigneter Beleuchtung mittels einer Lupe, schon mit unbewaffnetem Auge die Nähte bis in ihre äußersten Verzweigungen deutlich sehen.

Wie schon oben bemerkt, *färbt sich die Kittsubstanz der Nähte mit Methylenblau* stärker als die übrige Linsensubstanz. Diesen Unterschied der Färbung kann man *während der ganzen Dauer der Mazeration* beobachten, so daß *selbst bei fortgeschrittenem Zerfall die Nahtspalten durch ihre dunkleren Ränder von den Spalten in der Faserrichtung makroskopisch unterschieden werden* können, eine Unterscheidung, die sonst nur durch Bestimmung des Faserverlaufes unter dem Mikroskop möglich wäre.

Die Nähte lassen sich auch durch *Versilberung* darstellen. Wir legten die von Glaskörper sorgfältig gereinigten Linsen einige Stunden in 1 pro mille Höllensteinlösung ein und setzten sie hierauf dem Licht aus. Auch da zeigte die *Nahtsubstanz eine stärkere Affinität* zum einwirkenden Reagens. Die Nähte färbten sich, nachdem man die Linsen einige Zeit dem Sonnenlicht ausgesetzt hatte, dunkelbraun bis schwarz und hoben sich so sehr deutlich von dem helleren Ton der Umgebung ab. Das Nahtsystem der hinteren Linsenfläche läßt sich aber durch die Versilberung selten in allen Teilen deutlich darstellen, wahrscheinlich, weil trotz sorgfältiger Abstreifung des Glaskörpers immer noch störende Reste desselben haften bleiben.[1])

Während beim *jungen Tier* (Kalb) die Nähte der Vorder- und Hinterfläche einen *einfachen dreistrahligen Stern* bilden, treten mit dem *Alter* immer mehr *Verzweigungen* und später auch *Unterverzweigungen* auf. Außerdem verlaufen die Nähte (wie diejenigen der erwachsenen Menschenlinse) nicht geradlinig, sondern zeigen *winklige Knickungen*. — Gewöhnlich ist das Nahtsystem der Hinterfläche komplizierter als das der Vorderfläche, oder es sind beide annähernd gleich entwickelt. Seltener sahen wir bei völlig unver-

[1]) Wir machten dieselbe Beobachtung auch bei der Darstellung des Nahtsystems der menschlichen Linse mittels Argentum nitricum.

zweigter vorderer Naht eine fortgeschrittene Teilung der hinteren Nahtstrahlen. (Eine Verwechslung von Vorder- und Hinterfläche ist bei der bedeutend stärkeren Wölbung der letzteren ausgeschlossen (Fig. 1).

Fig. 1.

Nahtsystem der Ochsenlinse. Bei a stärkere Verzweigung der hinteren Naht; bei b annähernd gleich starke Verzweigung der vorderen und der hinteren Naht; bei c ausgesprochene Verzweigung der vorderen Naht bei völlig unverzweigter hinterer Naht.

Bei der Beschreibung der Versuchsanordnung betonten wir, daß man sich bei der Isolierung der Linse *vor Verletzungen der Kapsel hüten* müsse; denn wenn in der letzteren auch nur die geringste Öffnung durch Einreißen oder einen Stich entsteht, so stülpt sich die Linsenmasse schon nach einigen Stunden infolge ihrer Aufquellung hernien- oder pilzartig heraus. So sahen wir bei einer Kalbslinse einen Teil der Rinde samt dem Kern nach zwei Tagen außerhalb der Kapsel liegen, die bis auf eine hirsekorngroße Öffnung intakt war. Der Rest der Rinde füllte die Kapsel vollständig aus und hing nur durch einen dünnen Stiel mit der ausgetretenen Masse zusammen.

Die *Lage der Linse in der Mazerationsflüssigkeit*, d. h. der Umstand, ob sie mit der Vorderfläche oder der Hinterfläche aufruht, hat auf den Verlauf des Zerfalles keinen wesentlichen Einfluß. Als Beispiel diene folgender Versuch, den wir mit mehreren Kalbslinsen anstellten:

Die Linsen wurden 48 Stunden in Brunnenwasser mit etwas Methylenblau eingelegt. Nach dieser Zeit zeigte sich folgendes:

a) Linsen, die mit der Vorderfläche nach *oben* eingelegt wurden. Form kugelig, Kapsel prall gespannt. An der Vorderfläche drei tiefe, breite, fast bis zum Äquator reichende Spalten, den vorderen Abschnitt der Linse beinahe in drei gleiche große Segmente zerlegend. An der Hinterfläche drei kurze, schmale Spalten, die weniger tief einzudringen scheinen und mit den vorderen alternierend stehen.

b) Linsen, die mit der Vorderfläche nach *unten* eingelegt wurden, zeigen ebenfalls an der Vorderfläche die langen, breiten, an der Hinterfläche die kurzen Spalten.

Es ist also belanglos, ob die Linse bei der Mazeration auf der Vorder- oder auf der Hinterfläche ruht. Dasselbe Verhalten sahen wir auch an Linsen älterer Tiere.

Betrachten wir die *Mazerationserscheinungen an einer Tierlinse* (Rind) mit ausgesprochener Kernentwicklung, so sehen wir in typischer Reihenfolge die nachfolgend beschriebenen Zerfallsstufen.

1. Gleich nach Einlegen beginnt die *Wasseraufnahme* durch die intakte Kapsel hindurch. Die Linse wird nach wenigen Stunden kugelig. Trotzdem kann man noch (abgesehen von der mikroskopischen Bestimmung des Epithels) Vorder- und Hinterfläche makroskopisch voneinander unterscheiden, wenn noch Reste der Zonula und des Corpus ciliare an der Kapsel haften. Denn diese befinden sich nicht am jetzigen Äquator der so entstandenen Kugel, sondern erscheinen parallel dazu gegen die Vorderfläche verschoben. Das eindringende Wasser sammelt sich *subepithelial* an und drängt so die *Kapsel samt dem Epithel* von der Rinde ab. (Zieht man bei einer solchen, kurze Zeit eingelegten, frischen Linse ein Stück der Vorderkapsel ab, so kann man unter dem Mikroskop das Epithel an der Kapsel haften sehen.) Die Flüssigkeit sammelt sich *hauptsächlich an den Polen*, weniger am Äquator an.

2. Schon nach 12 Stunden sehen wir deutliches *Klaffen der Nähte*, tief und breit vorn, weniger ausgeprägt hinten, die Spalten werden breiter und länger und greifen nach und nach *auf die entgegengesetzte Seite* über, zuerst diejenigen der Vorder-, dann diejenigen der Hinterfläche.

3. Nach einigen Tagen treten *sekundäre Spalten in der Faserrichtung* auf, die aber nur *vereinzelt*, nicht der großen Zahl *Rabl*scher Lamellen entsprechend sehr zahlreich sind. Auffallenderweise sind oft gewisse Stellen einer Naht für den Abgang solcher „Faserspalten“ bevorzugt. Sehr oft sieht man zwei derselben von einem

Punkt der Naht symmetrisch gegen den Äquator ziehen, wodurch bei oberflächlicher Betrachtung eine Nahtverzweigung vorgetäuscht werden kann. Gerade hier ist die Methylenblaufärbung sehr nützlich.

4. Die *Nahtspalten* (und auch die schon bestehenden „*Faserspalten*") dringen bei fortgesetzter Mazeration stets tiefer. Nur die *Kernoberfläche* setzt ihrem Weiterwachsen eine gewisse Grenze. Wir können in diesem Stadium bei ungefärbten Objekten den Kern an seiner deutlichen gelben Färbung noch gut erkennen.

5. Nachdem so die ganze Rinde (und zum Teil auch der Kern, s. w. u.) in *apfelsinenartige Sektoren* (*nicht* in *Rabl*sche Lamellen!) geteilt ist, setzt die *Zerklüftung in konzentrische Lamellen* ein. Wir können den Beginn dieses Zerfalles zuerst an den *Rändern* der Spalten beobachten. Betrachten wir im richtigen Zeitpunkt die Flanke eines der auseinandergewichenen Sektoren, so sehen wir ein leichtes Klaffen einzelner konzentrischer Lagen. Die Trennung der zwiebelschalenartigen Lamellen prägt sich stetig mehr und mehr aus (Fig. 2).

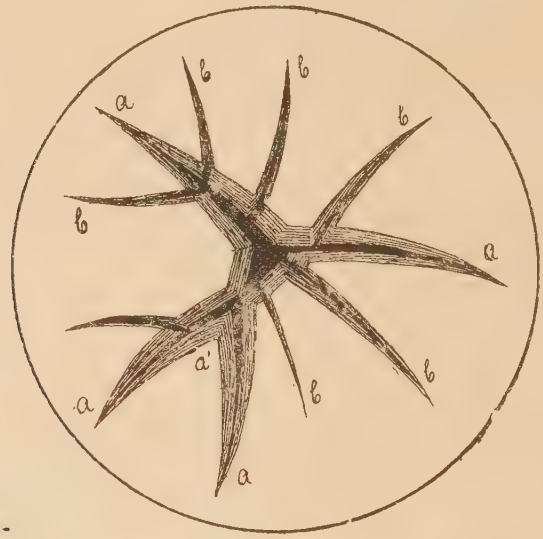

Fig. 2.

Spaltenbildung bei der Mazeration einer Ochsenlinse. (8 Tage in Wasser mit etwas Phenolzusatz mazeriert). — Kapsel intakt. a) Haupt- oder Nahtspalten; b) Neben oder Faserspalten. Bei a Verzweigung einer Naht. An den Wänden der Spalten konzentrische Schichtung.

6. Die *Kapsel* wird durch die fortwährende Wasseraufnahme ihres Inhaltes immer stärker gedehnt, hält sich aber, besonders

durch Phenolzusatz, oft wochenlang. Sie bleibt *durchsichtig*, und man kann deshalb die Zerfallserscheinungen in ihrem Innern gut beobachten. Es scheint von Wichtigkeit zu sein, *die Kapsel möglichst lange zu erhalten;* denn nur auf diese Weise wird sie gleichmäßig mazeriert und platzt vollständig auf, wodurch ein nur teilweises Austreten ihres Inhaltes vermieden wird.

7. *Reißt endlich die Kapsel*, so legen sich die mazerierten Rindenteile *„wie die Blätter einer Seerose"* auseinander, wodurch äußerst zierliche Gebilde entstehen, die wir nur annähernd in Plastinmodellen festhalten konnten (Fig. 3 u. 4). *Merkwürdiger-*

Fig. 3.
Pferdelinse, nach 10tägiger Mazeration. Aufblättern der konzentrischen Schichten nach Platzen der Kapsel. (Photographie nach einem Plastinmodell.)

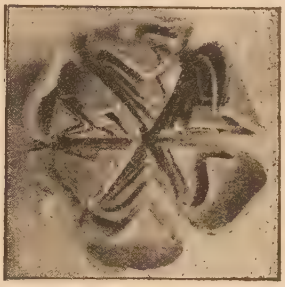

Fig. 4
Ochsenlinse, nach 14tägiger Mazeration. Kapsel geplatzt Die konzentrischen Schichten legen sich „wie die Blätter einer Seerose" auseinander. (Photographie nach einem Plastinmodell.)

weise öffnen sich, gleichgültig, wie die Linse eingelegt wurde, die Blätter hauptsächlich nach der Vorderfläche, während sie in ihren hinteren Abschnitten trotz der dort entstandenen tiefen Nahtspalten fester zusammenhalten.

8. Die *Rinde* zerfällt immer mehr, die konzentrischen Blätter legen sich stärker auseinander und lösen sich nun auch durch *Spaltung in radiärer Richtung* nach und nach in ihre Bestandteile, die einzelne Fasern, auf. *Nie beobachteten wir, daß ein Zerfall in „Radiärlamellen" auftrat, bevor eine weit vorgeschrittene Trennung in zwiebelschalenartige Blätter stattgefunden hatte.*

9. Der *Kern* zeigt sich dem Mazerationsmittel gegenüber resistenter als die weichere Rinde. Zwar dringen schon vor dem

Platzen der Kapsel tiefe Spalten vorn und hinten in ihn ein. Diese Spalten liegen in den *Nähten* und greifen bei längerer Mazeration auch auf die *entgegengesetzte Seite* über. Da die Nähte des Kerns einen unverzweigten Dreistrahl bilden, dessen Arme vorn und hinten alternierend stehen, bilden sich *sechs gleich große Sektoren*.

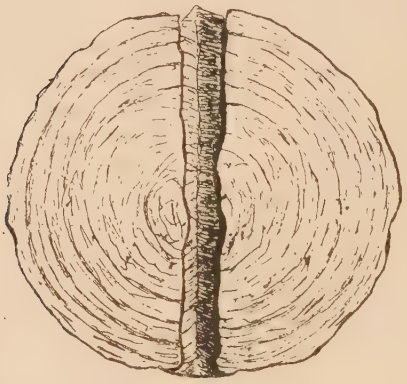

Fig. 5.

Kern einer während 5 Wochen mazerierten Kuhlinse. Es ist die Hälfte des Kernes mit 3 Sektoren dargestellt. Die Flanken der letzteren zeigen konzentrische Zerklüftung, die bis ins Zentrum angedeutet ist.

Der Kern zeigt wenig Neigung, sich in konzentrisch geschichtete Blätter aufzulösen, und seine innersten Teile bleiben, oft auch bei monatelanger Mazeration, zusammenhängend. Auch treten nicht, wie in der Rinde, Spalten in der Faserrichtung auf; *einen Zerfall in Rablsche Lamellen konnten wir am Kern nie beobachten.* Man kann aber schon frühzeitig an den Rändern der Nahtspalten eine Andeutung der *konzentrischen Schichtung* des Kerns sehen, und wenn man die Flanke eines so entstandenen Sektors mikroskopisch untersucht, so sieht man *konzentrische Linien als Ausdruck der zwiebelschalenartigen Struktur bis in die zentralen Partien*, wenn sie auch nach innen immer unregelmäßiger werden (Fig. 5). (Denselben Aufbau sahen wir auch bei gekochten oder in 10proz. Lysollösung eingelegten Linsen, bei denen wir den Kern fast gänzlich in konzentrische Blätter zerlegen konnten.)

Als *Endergebnis wochenlanger Mazeration* sahen wir also die Auflösung der Rinde in ihre einzelnen Fasern, während (wenigstens bei alten Tieren) der Kern nur in einzelne Sektoren zerfiel, an deren Peripherie sich allerdings ebenfalls Zerfall in konzentrischem Sinne und Trennung in die einzelnen Fasern zeigte.[1])

[1]) Wir möchten hier noch eine vereinzelte Beobachtung an einer *kataraktösen Ochsenlinse* anführen. Das affizierte Auge befand sich unter u. a. 10 anderen, die wir alle erst 2 Tage nach der Schlachtung untersuchten. Das Material hatte während dieser Zeit im Eisschrank gelegen. Die kataraktöse Linse zeigte bei der Herausnahme *fortgeschrittenen Zerfall, wie wir ihn sonst erst nach wochenlanger Mazeration beobachteten*, ähnlich Fig. 4, *ohne Anzeichen putrider Zersetzung.* Bei den übrigen Linsen derselben Serie fanden wir mit Ausnahme geringer Nahtzerklüftung keine Mazerationserscheinungen.

C. *Mazeration menschlicher Linsen.*

Unsere Beobachtungen stellten wir an *gegen hundert Linsen* an. Wir erhielten aus dem *pathologisch-anatomischen Institut der Universität Basel* Linsen von Leichen jeden Alters. In der Einleitung sagten wir, daß wir die Erscheinungen des Mazerationszerfalles mit denjenigen bestimmter kataraktöser Vorgänge vergleichen wollten, und deshalb wählten wir auch bei den Versuchen mit Menschenlinsen hauptsächlich solche *älterer* Personen.

Die Untersuchung der Mazerationsvorgänge ist an der menschlichen Linse *infolge deren geringeren Dimensionen und deren komplizierteren Baues weniger leicht* als an der verhältnismäßig großen Tierlinse mit einfacherem Nahtsystem. Es lassen sich zwar auch hier viele Erscheinungen mit unbewaffnetem Auge erkennen, hauptsächlich bei fokaler Beleuchtung oder bei Durchleuchtung, doch kommt man ohne Mikroskop nicht aus, wenn es sich darum handelt, feinere Einzelheiten zu studieren. *Deshalb war uns auch das binokulare Hornhautmikroskop bei unseren Untersuchungen unentbehrlich*, besonders bei der Beobachtung des von *Vogt* in der kataraktösen Linse gefundenen und von uns experimentell erzeugten lamellären Zerfalles.

Die Vorgänge, die wir bei unseren Versuchen mit tierischem Material beschrieben, treten uns auch bei der Mazeration menschlicher Linsen entgegen. Doch folgen sich hier *die einzelnen Phasen des Zerfalles nicht in so typischer Weise* wie dort.

Schon wenige Stunden nach Einlegen in die Mazerationsflüssigkeit wird die Linse durch *Aufnahme von Wasser, das sich auch hier hauptsächlich an den Polen ansammelt*, kugelig. Frühzeitig[1]) tritt auch *Zerklüftung in den Nähten* auf. *Die so entstandenen Spalten dürfen wir vielleicht mit den bei der kataraktösen Linse gefundenen „Wasserspalten" in Parallele setzen.* Sie haben scharfkantige Ränder, zeigen oft anfangs die Form der Embryonalkernnaht und sind dann häufig von nicht gespaltener Rindensubstanz überlagert.

Bald kann man an den Wänden solcher Spalten den Beginn der *Aufblätterung in konzentrische Lamellen* sehen. Früher aber als bei der tierischen Linse tritt hier ein *Zerfall auch in der Faser-*

[1]) Ein Auseinanderweichen der axialen Nahtpartien sahen wir bei einer Linse, die wir nur während 15 Minuten (direkt dem Glaskörper entnommen) in Brunnenwasser mazeriert hatten. Die Form der Linse war noch nicht stark verändert.

richtung ein, und zwar ist dieser ganz *regellos*, ohne bestimmte Prädilektionsstellen zu zeigen. Es mag dieser Umstand mit dem komplizierten Bau des Nahtsystems zusammenhängen.

Untersucht man eine mehrere Tage mazerierte Linse mit dem Hornhautmikroskop, so sieht man durch die *prall gespannte, durchsichtige Kapsel* die tiefen Nahtspalten, von denen regellos zahlreiche Zerklüftungen in der Faserrichtung abgehen. Das Bild ist oft recht unklar, weil hauptsächlich die oberflächlichen Rindenpartien sehr unregelmäßig zerfallen. (Weitere Beobachtungen mit dem Hornhautmikroskop s. w. u.)

Die *Kapsel* pflegt mehrere Tage intakt zu bleiben, doch läßt sich eine genaue Dauer ihrer Resistenz nicht angeben. Es scheint dabei die mehr oder weniger große Sorgfalt, mit der die Linse bei der Entfernung aus dem Bulbus und beim Einlegen in die Mazerationsflüssigkeit behandelt wurde, eine Rolle zu spielen. *Phenolzusatz verzögert die Mazeration* der Kapsel beträchtlich.

Nach Sprengung der Kapsel legen sich die gequollenen Rindenmassen auseinander, und der noch wenig mazerierte Kern liegt ähnlich wie bei der Tierlinse in der Mitte einer *Rosette*. Nur zeigen die Blätter der letzteren, soweit sie der Rinde entstammen, *keine große Regelmäßigkeit*. Dagegen kann man in diesem Stadium sehr schön eine Aufblätterung der äußersten Kernschichten in *konzentrisch gelagerte Lamellen* beobachten, wodurch ein Bild entsteht, wie das in Fig. 6 skizzierte. — Auch hier sehen wir *keinen Zerfall in Lamellen im Rabl*schen *Sinne*; denn wenn die Zerklüftung in der Faserrichtung eintritt, haben sich die zwiebelschalenartigen Blätter schon voneinander getrennt, und das Resultat diese kombinierten Zerfalles ist die *Auflösung der Linse in ihre einzelnen Fasern*.

Fig. 6.
Seit 8 Tagen mazerierte menschliche Linse. Zerfall in konzentrisch geschichtete Blätter. Die auf diesem halbschematischen Bilde dargestellten Teile bestehen nur aus den inneren Rindenschichten und dem Kern.

Wie erwähnt, leistet der *Kern* bei der Mazeration größeren Widerstand als die Rinde. Wir sehen zwar die *Nahtspalten* auch in ihn eindringen, doch kommt es gewöhnlich zu *keiner Segmentierung*

wie bei der Tierlinse. Die oberflächlichen Kernpartien zeigen *konzentrische Lamellierung*, was aber die zentralen Teile anbetrifft, so müssen wir die auf S. 7 angeführten Angaben von *Merkel* und *Kallius* (3) bestätigen.

Merkwürdigerweise zeigt der Kern die Neigung, sich bei der Mazeration in der Äquatorialebene (oder in eine dazu parallelen Ebene) in zwei Hälften zu trennen. Wir beobachteten diese Erscheinung besonders deutlich in folgenden drei Fällen:

Fall 1. H., 55 Jahre, männlich. Mazeration in Wasser mit Methylenblaufärbung. Nach 8 Tagen wegen starker putrider Zersetzung etwas Phenolzusatz. — *Nach drei Wochen* ist die Rinde vollständig aufgeblättert und vom Kern losgelöst. Dieser mißt 5 : 6 : 3 mm und zeigt am Äquator eine ringsum verlaufende, in die Äquatorialebene eindringende Spalte, die den Kern fast gänzlich getrennt hat. *Die beiden gleich großen Hälften können leicht voneinander gehoben werden.* — Die *Bruchfläche* ist leicht uneben und zeigt makroskopisch, deutlicher noch mit dem Hornhautmikroskop, *konzentrische, zum Teil etwas unregelmäßige Schichtung*, die sich bis in die innersten Teile verfolgen läßt (Fig. 7).

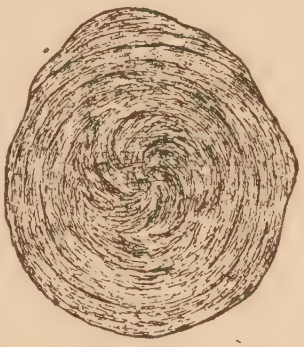

Fig. 7.
In der Äquatorialebene halbierter Kern, Bruchfläche. (Fall 1. H., 55 Jahre, männlich.) Deutliche konzentrische Schichtung, in den zentralen Partien unregelmäßig, zum Teil spiralig.

Fall 2. B., 78 Jahre, weiblich. Mazeration in Wasser ohne Zusatz. *Nach drei Wochen* ist die Rinde stark mazeriert, die Kernoberfläche zeigt Zerfall in den Nähten und konzentrische Lamellen. *Auch hier hat eine ungefähr in der Äquatorialebene eindringende Spalte den Kern in zwei gleich große Hälften von Scheibenform zerlegt.* (Durch einen unglücklichen Zufall ging uns das Präparat verloren, bevor wir es genauer untersuchen konnten.)

Fall 3. K., 58 Jahre, männlich. Eingelegt in Wasser-Methylenblau mit etwas *Phenolzusatz* am 6. III. — Am 27. III. ist die Kapsel noch intakt. Form kugelig, ausgesprochene Zerklüftung in den Nähten und in der Faserrichtung. Die Kapsel wird angestochen und vorsichtig abgezogen. Die Rinde zeigt schöne Aufblätterung; *die konzentrischen Lagen sind hier dicker, als wir sie sonst zu sehen pflegten*, und das Bild erinnert an die in Fig. 4 abgebildete Tierlinse, ohne aber deren Regelmäßigkeit aufzuweisen. (Es ist möglich, daß dieser abweichende Befund wie auch die lange Resistenz der Kapsel auf die Phenolwirkung zurückzuführen sind.) — Am 3. IV. haben sich die Rindenpartien in Form zwiebelschalenartiger, lanzettlicher Stücke losgelöst. *Der Kern hat sich in der Äquatorialebene in zwei nicht völlig gleich große Stücke mit unebenen Bruchflächen geteilt.* Die *konzentrische Schichtung* ist angedeutet, aber nicht so ausgesprochen wie im Falle H. — Die Maße

der beiden Kernhälften betragen: a) 6,5 : 6,5 : 3,0 mm; b) 6,5 : 6,5 : 2,0 mm (Fig. 8).

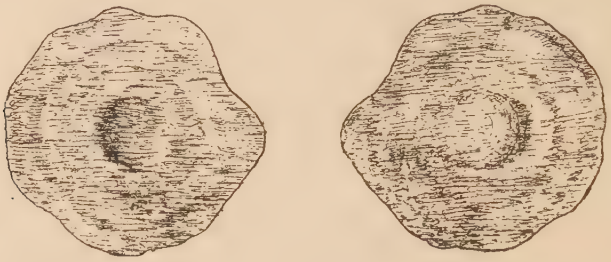

Fig. 8.

Zerfall des Kernes durch Teilung in der Äquatorialebene. (Fall 3 N., 58 Jahre, männlich.) Die eine Hälfte zeigt im Zentrum der Bruchfläche eine Erhöhung, die in die entsprechende Delle der anderen Hälfte paßt. Konzentrische Schichtung nur angedeutet.

Diese Erscheinungen geben uns vielleicht eine Erklärung zu der Tatsache, daß wiederholt bei der Kataraktoperation zwei *Linsenkerne* gefunden wurden. *Heß* (5) (l. c. pag. 78) schreibt über diese außergewöhnlichen Fälle folgendes:

„Wiederholt ist das Austreten von *zwei Linsen* aus einem Auge bei der Operation beschrieben worden, zuerst von *A. V. Graefe* (1854), später von *Erwin*."

In *Graefes* Falle wurden bei der Extraktion des anscheinend normalen Altersstares zwei flache Linsenkerne von 3½ mm Durchmesser und 1 mm Dicke herausbefördert; sie waren einander ganz kongruent, nur der eine etwas flacher und brauner als der andere; die genauere Untersuchung ergab normalen Faserverlauf. *v. Graefe* neigt der Annahme einer Bildungsanomalie des Linsensystems zu.

Bei *Erwins* 70jährigem Patienten, der wiederholt wegen Glaukom iridektomiert worden war, hatten beide Kerne bei normaler Form 8 mm Durchmesser und 3 mm Dicke. *Erwin* glaubt die Erscheinung als Folge einer Verletzung der Linsenkapsel bei den früheren Iridektomien deuten zu können.

Beim Lesen dieser Beobachtungen drängt sich uns die Annahme auf, *daß sich intra vitam ähnliche Vorgänge abgespielt hatten, wie wir sie experimentell durch Mazeration hervorriefen.* Die angegebenen Maße beweisen, daß die Trennung in analoger Weise stattgefunden hat, nämlich durch Spaltung in frontaler Richtung in einen vorderen und einen hinteren scheibenförmigen Abschnitt. Damit finden die sonderbar erscheinenden Beobachtungen der erwähnten Autoren in unseren Mazerationsergebnissen eine Erklärung.

Sehr interessante Erscheinungen des Mazerationszerfalles menschlicher Linsen sahen wir in einer weiteren Reihe von Versuchen, die wir gemeinschaftlich mit Herrn Prof. Dr. A. Vogt machten.

Die zu untersuchenden Linsen wurden *möglichst frisch* sorgfältig isoliert und sogleich am binokularen Hornhautmikroskop mit zwanzigfacher Vergrößerung nach allfälligen Trübungen oder lamellären Zerfallserscheinungen abgesucht. *Waren sie von letzteren frei*, so wurden sie unter Vermeidung jeglicher mechanischer Läsion in einem der oben erwähnten Glaslöffelchen oder noch vorteilhafter in der beschriebenen Glaskammer in gewöhnliches Wasser eingelegt.

K. 79 Jahre, männlich. Untersuchung sogleich nach Ankunft aus dem pathologisch-anatomischen Institut. — Ausgesprochene Gelbfärbung; vereinzelte kranzförmige Trübungen am Äquator. Parazentral in der oberflächlichen Kernzone (Vorderseite) eine Grupe von Cholestearinkristallen. *Nirgends Anzeichen von lamellärer Zerklüftung.*

Untersuchung nach 24 stündiger Mazeration: Linse durch Wasseraufnahme gequollen, kugelig. Tiefe Zerklüftung der Nähte. *Typischer lamellärer Zerfall.* Die „Fältelungen", die in den tieferen Rinden- und oberflächlichen Kernschichten über einen größeren Teil der Linse gestreckt verlaufen, scheinen sich an den Nähten einzusenken und sind hauptsächlich zwischen diesen sehr deutlich sichtbar. *Auch hier zeigen sie die charakteristische Form, die von Vogt* (1) (*Fig. 6, l. c. pag. 41*) *hervorgehoben wurde.* — Über diesen „Fältelungen" sind noch ganz feine Fältchen senkrecht zu den ersteren sichtbar. — *Es ist hier durch Mazeration ein Bild entstanden, das mit dem von Vogt bei der senilen Linse im lebenden Auge beobachteten ganz identisch ist.*

Die Zerklüftung war in diesem Falle auch nach Abziehen der Kapsel und Entfernung der Rinde zu sehen, während wir sonst bemerkten, daß *durch mechanische Insulte, wie starkes Quetschen der Linse, die vorher deutlichen Erscheinungen lamellären Zerfalles verschwanden.*

B., 78 Jahre, männlich. Mazeration in Wasser (mit Methylenblaufärbung) während *sechs Tagen.* — Die ziemlich stark gefärbte Kapsel ist gesprungen. *In den tieferen Rinden- und oberflächlichen Kernschichten zeigt sich der lamelläre Zerfall* an verschiedenen Stellen sehr deutlich in Form teils gröberer, teils feinerer, wie beim Lebenden beobachteter Zerklüftung (Fig. 9), *trotzdem die frische Linse keine solchen Erscheinungen aufgewiesen hatte.*

X., 87 Jahre, männlich. Beide Linsen zeigen frisch ziemlich zahlreiche punkt- und kranzförmige Trübungen, *nirgends Anzeichen von lamellärer Zerklüftung.* — Nach 24 *stündiger Mazeration* in Wasser ohne Zusatz zeigt die eine Linse an zirkumskripter Stelle deutliche *„Fältelung"*. Die Schein-Falten endigen zum Teil an einer radiären kataraktösen Trübung; sie liegen in den tieferen Rindenschichten. — Nach *dreitägiger Mazeration* ist der lamelläre Zerfall noch weiter fortgeschritten (Fig. 10). In der anderen zugleich eingelegten Linse finden sich immer noch keine lamellären Zer-

klüftungserscheinungen, wenigstens nicht in typischer Form. (Eine längere Beobachtung war infolge der starken putriden Zersetzung und der damit einhergehenden Trübung der Kapsel und der oberflächlichen Rindenschichten nicht möglich.)

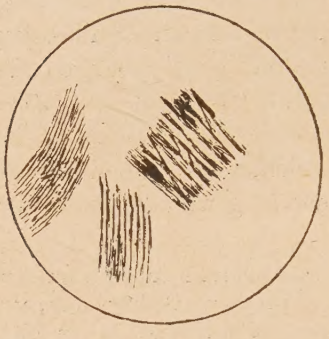

Fig. 9.
Durch Mazeration erzeugte lamelläre Zerklüftung. (Fall B., 78 Jahre, weibl.) Je nach der Richtung des Lichtbündels sieht man mit dem Hornhautmikroskop teils feinere, teils größere „Fältelungen".

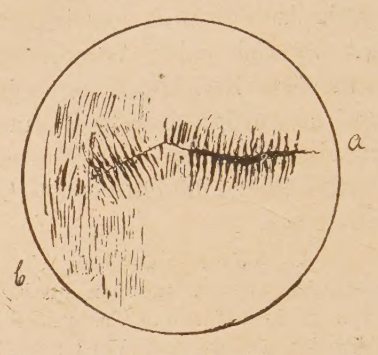

Fig. 10.
Durch Mazeration erzeugte lamelläre Zerklüftung. (Fall X., 87 Jahre, männl.) Bei a setzen sich die in den tieferen Rindenschichten gelegenen „Fältelungen" an eine kataraktöse Trübung an; bei b. Faserstreifung über der Zerklüftung.

IV. Zusammenfassung.

1. Die früher allgemein angenommene Lehre vom Aufbau der Linse aus zwiebelschalenartig geschichteten Lamellen wurde seit den Untersuchungen von *Rabl* von den meisten neueren Autoren fallen gelassen. An ihre Stelle trat die Anschauung von der Zusammensetzung dieses Organs aus radiär geschichteten Lamellen. Daß die einseitige Auffassung der von *Rabl* äußerst eingehend begründeten Lehre nicht nur *keine Klarheit, sondern in einzelnen Fällen sogar Verwirrung in die Anschauungen vom Aufbau der Linse* gebracht hat, haben wir durch Anführung einzelner Zitate aus der modernen Literatur bewiesen. Wir haben in unseren kritischen Ausführungen gezeigt, daß es nicht angeht, die alte Lehre rundweg abzulehnen, sondern *wir müssen denjenigen Autoren beistimmen, welche neben der Zusammensetzung der Linse aus Radiärlamellen noch eine solche aus konzentrisch geschichteten Blättern annehmen;* denn, wenn auch die *Rabl*sche Auffassung vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkt aus durchaus anzuerkennen ist, *so bringen doch die Darstellungen dieses Autors nichts Beweisendes*

gegen die Existenz einer konzentrischen Schichtung. Vom praktischen Standpunkt aus müssen wir die alte Lehre vom Aufbau der Linse in erster Linie berücksichtigen.

2. Zur Rechtfertigung unserer Auffassung seien noch die *Ergebnisse unserer experimentellen Untersuchungen angeführt:*

Bei der menschlichen wie bei der tierischen Linse tritt bei der Mazeration zuerst durch Wasseraufnahme eine *Zerklüftung* in den Nähten ein. Ähnlich wie die Untersuchungen am binokularen Hornhautmikroskop *Vogt* dazu führten, eine Prädisposition der Nahtlinien zur sog. *Wasserspaltenbildung* anzunehmen, kann man auch bei der Mazeration sehen, daß diese Zerklüftung *mit Vorliebe in den Nähten* eintritt.

Gleichzeitig mit dieser Spaltenbildung setzt ein *lamelläres Auseinanderweichen* ein, und diese Zerfallserscheinung findet in der tierischen wie in der menschlichen Linse *nicht oder erst in zweiter Linie im Sinne Rabl*scher *Radiärlamellen, sondern in dem der zwiebelschalenartig gelagerten Blätter statt.* Nie konnten wir einen Zerfall in der Faserrichtung feststellen, bevor eine fortgeschrittene Trennung in konzentrische Lagen sichtbar war. *Das Endergebnis des Zerfalles in beiden Richtungen ist die Auflösung der Linse in ihre einzelnen Fasern.*

Rabl sah (l. c. pag. 26), daß bei der Härtung *sehr selten*[1]) quere Spalten sich bilden, die senkrecht durch die Radiärlamellen und demnach parallel zur Oberfläche verlaufen, dagegen ganz gewöhnlich Spalten zwischen den Radiärlamellen. Man könnte aus diesem Unterschied der Erscheinungen bei der Härtung und bei der Mazeration vielleicht schließen, daß *durch Wasserentzug hauptsächlich der Zusammenhang zwischen den Radiärlamellen, durch Wasseraufnahme (einen Prozeß analog der Rinden-Kataraktbildung) aber derjenige zwischen den konzentrischen Schichten* in erster Linie gelockert wird.

3. *Durch Mazeration menschlicher Linsen konnten wir ganz ähnliche Erscheinungen hervorrufen, wie sie Vogt so häufig an der kataraktösen Linse im höheren Alter beobachtete* und sie in den zitierten Abhandlungen beschrieb und abbildete. *Wir müssen seiner Anschauung, daß die von ihm im lebenden Auge gesehenen Bilder als Ausdruck lamellären Zerfalles der Linse zu deuten seien, auf Grund unserer Mazerationsversuche beipflichten.*

---

[1]) Im Original nicht gesperrt.

4. Durch längere Mazeration der menschlichen Linse erzielten wir öfters einen *Zerfall des Kerns in der Äquatorialebene* und deshalb eine Teilung in zwei annähernd gleich große, scheibenförmige Abschnitte. Es kann durch diese Beobachtung vielleicht die Tatsache erklärt werden, daß *v. Graefe* und *Erwin* bei der Kataraktoperation *zwei Kerne in einer Linse* fanden.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. *A. Vogt*, Direktor der Universitäts-Augenklinik in Basel, für seine Anregung zu der vorliegenden Arbeit, sowie das Interesse, das er derselben stets entgegenbrachte, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. — Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. *Hedinger*, Direktor des pathologisch-anatomischen Instituts der Universität Basel, sowie Herrn Dr. *Unger*, Direktor des städtischen Schlachthauses, für ihre gütige Zuweisung des reichlichen Materials.

Literatur-Verzeichnis.

1. *Vogt, A.*, Faltenartige Bildungen in der senilen Linse, wahrscheinlich als Ausdruck lamellärer Zerklüftung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1918. Bd. 60. — 2. *Rabl, C.*, Über den Bau und die Entwicklung der Linse. 1900. — 3. *Merkel, Fr.* und *Kallius, E.*, Makroskopische Anatomie des Auges. In Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. 2. Aufl. — 4. *Schultze, O.*, Mikroskopische Anatomie der Linse und des Strahlenbändchens. In Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. 2. Aufl. — 5. *Heß, C.* Pathologie und Therapie des Linsensystems. In Graefe-Saemisch. 2. Aufl. 1911 — 6. *Ginsberg*, Grundriß der pathologischen Histologie des Auges. 1903. — 7. *Greeff*, Die pathologische Anatomie des Auges. 1. Ergänzungsbd. zu Orth: Lehrb. d. spez. path. Anat. 1902—1906. — 8. *Stöhr*, Lehrb. d. Hist. u. d. mikrosk. Anat. d. Menschen. 1906. 12. Aufl. — 9. *Salzmann*, Anatomie und Histologie des menschlichen Augapfels im Normalzustande, seine Entwicklung und sein Altern. 1912. — 10. *Testut*, Traité d'Anat. Hum. 1905. — 11. *Branca*, Préc. d'Hist. 1906. — 12. *Vogt, A.*, Klinischer und anatomischer Beitrag zur Kenntnis der Caracta senilis, insbesondere zur Frage des subkapsulären Beginnes derselben. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1914. Bd. 88. — 13. *Lehrbuch der Augenheilkunde*, herausgeg. v. Axenfeld. 1915. 4. Aufl. — 14. *Römer*, Lehrbuch der Augenheilkunde in Form klinischer Besprechungen. 1910. — 15. *Fuchs*, Lehrb. d. Augenheilk. 1910. 12. Aufl. — 16. *Encyklopädie der mikroskopischen Technik*, mit besonderer Berücksichtigung der Färbelehre. Herausgeg. v. Ehrlich, Krause, Mosse, Rosin u. Weigert. 1903.